

Güter leiten sich selbst durch Verkehrsnetze

Motivation

Zukunftsforscher sehen die Industrieländer am Beginn der 3. Industriellen Revolution. Nach diesbezüglichen Vorstellungen wird eines der Hauptmerkmale dieser Ära die Zusammenführung von materiellen Gütern und Informationen sein. Waren bzw. Güter werden also von Informationen ihr Leben lang begleitet. Diese Symbiose befähigt die Produkte, sich untereinander und mit der Infrastruktur auszutauschen und dabei Netze ohne äußere Eingriffe selbstständig zu durchlaufen. Somit besteht ein völlig neuartiges Paradigma, das große Chancen für innovative Lösungen bietet.

Dies alles erscheint vielfach noch als „Zukunftsmusik“. Oftmals bestehen noch keine rechten Vorstellungen, wie das alles in praxi funktionieren soll. Diesem Defizit wollen wir in der vorliegenden Arbeit ein wenig entgegenwirken, indem der mögliche Aufbau solcher Systeme exemplarisch gezeigt und deren Funktionsweise erläutert werden sollen.

Ein dafür besonders geeignetes Beispiel dafür bietet die Logistik. Die Aufgabe besteht dort bekanntlich darin, stückige Güter wechselnder Art von unterschiedlichen Orten aus innerhalb einer vorhandenen netzartigen Verkehrsinfrastruktur verlustfrei zu vorgesehenen Empfängern zu transportieren. Die Ausführung solcher Dienstleistungen wird jedoch zunehmend erschwert durch die auf unseren Straßen, insbesondere Autobahnen, beständig ansteigende Verkehrsbelastung insbesondere durch LKWs. Auch für die nächste Zeit wird ein weiterer Anstieg des Transportvolumens prognostiziert. Die Hauptursachen für den steigenden Warenverkehr dürften in der oftmals über Ländergrenzen hinweg verteilten Produktion, im sich ausweitenden Handel, besonders dem zunehmenden Internethandel, und den gestiegenen Ansprüchen der Kunden zu suchen sein.

Es ist längst klar, dass die sich abzeichnenden Wachstumsraten mit der derzeit vorliegenden Verkehrsinfrastruktur und den vorhandenen Verkehrsmitteln nicht bewältigt werden kann. Auch der Ausbau des Verkehrsnetzes stößt auf enge Grenzen. Ergo verbleibt nur die Möglichkeit, die vorhandenen Transportkapazitäten und Verkehrswege effektiver auszulasten, wofür es innovativer Konzepte bedarf. Dazu wollen wir im Folgenden einige Lösungsideen unterbreiten, die gemäß den Vorstellungen der 3. Industriellen Revolution auf dem Prinzip der Symbiose von Gütern und Informationen basieren.

Lösungskonzept

Wir fassen die vorhandene Verkehrsinfrastruktur als ein Netzwerk auf, dessen Knoten die Umschlagplätze bilden. Dazu gehören die vorhandenen Logistikzentren. Aber auch Stationen unkonventioneller Art, wie Postämter, Tankstellen oder sogar mobile Packstationen sind denkbar.

Der nächste Punkt ist die reale Handhabung der mit den Gütern zu verbindenden Informationen. Die Informationen sollten auf einem maschinenlesbaren Datenträger niedergelegt sein, wofür ein beschreib- und lesbarer Speicher infrage kommt. Die Hinzufügung einer Prozessorlösung sowie einer Funkschnittstelle würde natürlich eine wesentliche Leistungssteigerung ermöglichen. Auch ein Internetzugang sollte zumindest in den Netzknoten eingerichtet sein, um darüber beispielsweise einen Zugang zu digitalen Karten bzw. zur Routenplanung zu erlangen. Wünschenswert wäre auch die Einräumung eines CloudRouting, um etwa Informationen darüber zu erhalten, welcher Transportbedarf an welcher Stelle besteht und welche freien Transportmittel dafür zur Verfügung stehen.

Es ist noch zu klären, wie der Informationschip mit dem Transportgut verbunden werden sollte. Die von der Post, DHL und anderen Transportdienstleistern dafür verwendete Methode, die

Adressinformation als papierenes Etikett direkt auf das Versandgut bzw. seine Emballage zu kleben, erscheint für unsere Zwecke als ungeeignet. Stattdessen empfehlen wir, die Ware in standardisierten Behältern unterschiedlicher Größe zu transportieren und dementsprechend das Informationslabel mit dem Transportbehälter zu verbinden. Der Versand von Gütern in Transportboxen unterschiedlicher Größe besitzt mehrere Vorteile. Zum einen sind nicht nur die Boxen, sondern auch die mit ihnen verbundenen Informationslabel wiederverwendbar, was Kosten spart. Für manche Transportarten, etwa den Transport mittels Drohnen, könnten diese Boxen auch unmittelbar als Transportbehälter genutzt werden. Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Boxen ineinander zu schachteln, was wiederum die Einhaltung standardisierter Rastermaße voraussetzt. Damit gelingt die Zusammenführung mehrerer Güter, was Transportkapazität einspart [1].

Bleibt noch die Erläuterung des vorgeschlagenen Konzepts der autonomen und zielorientierten Navigation der Versandeinheiten durch das Verkehrsnetz. Eine dafür recht brauchbare Methode ist die adressgesteuerte Navigation. Diese Navigationsart verlangt eine möglichst effektive Adressstruktur. Dazu können wir Anleihe an dem von der Deutschen Post eingeführten Adresssystem zur Beförderung von Postkarten, Briefen und Paketen nehmen, dem sich inzwischen auch andere Zustell-Dienstleister, wie beispielsweise DHL, anschließen. Die Struktur der dort verwendete Adressbezeichnung ist gekennzeichnet durch eine Aufteilung in das Landeskennzeichen, einen 5-stelligen Dezimalcode zur Bezeichnung der zu durchlaufenden Netzmarken und eine verbale Bezeichnung der letztlich zu erreichenden Endadresse.

Die Funktionsweise des hier genutzten Prinzips der adressgeführten selbstständigen Navigation von Sendungen durch ein Verkehrsnetz erläutern wir zunächst am Beispiel der Zustellung einer Warensendung, wie sie derzeit noch konventionell durchgeführt wird. Dazu wird angenommen, dass die Sendung im Ausland aufgegeben wird, die Zieladresse in Berlin liegt und die letzte Ausgabestation in der Nähe des Boulevards Unter den Linden liegt. Von da an wird die Sendung per Postboten zugestellt. Der der Sendung beigelegte Adresscode lautet dann etwa *D-10117*. Das Landeskennzeichen *D* steht für Deutschland. Die nachfolgende erste Ziffer, nämlich *1*, verweist darauf, dass die Sendung innerhalb Deutschlands transportiert werden soll und in die Bundesländer Berlin bzw. Brandenburg zu leiten ist, da beiden Ländern der Adressraum von *10000 – 19999* zugewiesen ist. Die zweite Ziffer, die *0*, schränkt das Zielgebiet auf Berlin (Adressraum *10000 bis 12999*) ein und verweist dabei einen bestimmten Stadtteil, im vorliegenden Fall auf Berlin-Mitte. Die Lage des Zielortes innerhalb dieses Stadtgebiets wird nun noch weiter eingegrenzt, indem die letzten Ziffern, also *117*, auf das Gebiet um den Boulevard Unter den Linden verweisen. Damit endet die codierte Beschreibung. Die finale Adressführung erfolgt nunmehr durch verbale Angaben. Diese beziehen sich konkret auf die Straße, Hausnummer und den Namen des Adressaten. Die Abarbeitung dieses Adressteils wollen wir an dieser Stelle nicht weiter kommentieren.

Die Aufteilung der Adressangabe in einen Zehnercode und einen verbalen Teil ist durchaus vernünftig, da eine rein zahlencodierte Angabe das benötigte Codewort unangemessen verlängern würde. Zum anderen ermöglicht der verbale Teil eine flexiblere Handhabung der zielnahen Angaben, da die im lokalen Bereich immer wieder stattfindenden Veränderungen fortlaufend adressseitig berücksichtigt werden müssten.

Beschreibung der paketgesteuerten Zustellung

Nach Darlegung des vorgesehenen Adressierungsprinzips soll nun die Umsetzung auf unser Problem der selbststeuernden Paketvermittlung behandelt werden. Dazu gibt es zunächst folgende Entsprechungen: Das Netz ist nunmehr das Straßennetz. Die Rolle der Knoten übernehmen die darin enthaltenen Umschlagstationen (Hubs). In den Hubs kann bedarfsweise eine Umladung der Sendungen auf andere Fahrzeuge erfolgen, die auch mit einer Aggregation der Transportbehälter in größere Einheiten verbunden sein kann. Die mit Informationen ausgestatteten und sich selbststeuernden physischen Objekte sind hier die Transportbehälter, die mit einem maschinenlesbaren Chip ausgestattet sind. Diese enthalten außer den Zieladressen auch Zusatzinformationen. Dies könnten Angaben zur

Behandlung des Transportgutes, zu Lieferzeiten oder auch während der Fahrt erhaltene aktuelle Stauhinweise sein. Die verwendeten Chips können außer einem Speicher zur Verwahrung der Adresse auch mit einem Prozessor ausgestattet sein, der eine Informationsverarbeitung bietet. Eine weitere Funktionserweiterung würde die Einrichtung eines Internetzugangs ermöglichen.

Bei dem hier vorgestellten Lösungsvorschlag soll die vorstehend dargelegte Adressstruktur weitgehend übernommen werden. Das betrifft zunächst den Erhalt des Landeskennzeichens. Das Adressvolumen, und damit das nachfolgende Codewort, müsste allerdings erweitert werden, um die Vielzahl der im Transportnetz vorhandenen Hubs bezeichnen zu können. Die Umsetzung der Adresse in den Code sollte sorgfältig vorgenommen werden, um die Pakete möglichst zielstrebig durch das Transportnetz zu leiten. Bei der Auswahl der zu durchlaufenden Teilstrecken folgen sie zunächst den im Zifferncode enthaltenen Anweisungen. Diese können ggfs. modifiziert werden, wenn Meldungen über Staus oder Unfälle auf dieser Strecke eingehen, sodass vorübergehend die Benutzung einer Ausweichstrecke empfohlen wird. Die Beschreibung des Zustellungsweges durch Codeworte sollte auch hier nur bis in die Nähe der Adressaten reichen, wobei für „den letzten Kilometer“ eine Sonderregelung, wiederum in Form einer verbalen Beschreibung, getroffen wird.

Bei Erreichen des letzten empfangernahen Knotens wird die Sendung aus dem Transportmittel ausgeladen, werden Größe und Gewicht der Ware ausgelesen und Umschau nach einer weiterführenden individuellen Transportmöglichkeit gehalten. Bei dieser Suche kann es sich je nach Größe des Gutes um ein gerade freies Fahrzeug der DHL-Flotte oder auch Kleinfahrzeuge handeln, wie sie derzeit von Zubringerdiensten für bestellte Pizzas oder Sushi-Gerichte benutzt werden. Zu diesen vorhandenen und von Menschen geführten Transportmitteln werden sich eines Tages auch autonom verkehrende Fahrzeuge gesellen. Dazu könnten sich auf Fußwegen bewegende kleine fahrerlose Lieferwagen und eines Tages vielleicht sogar Transportdrohnen gehören. Derartige Fahrzeuge müssten dann über digitale Karten und eine das Umfeld erfassende Sensorik verfügen. Damit wäre es dann möglich, dass solche Fahrzeuge eines Tages auch noch den restlichen Abschnitt des Transportweges autonom zurücklegen.

Weitere Lösungsansätze

Mit den vorstehenden Darlegungen sollte eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie mit Informationen versehene Güter sich eigenständig in Verkehrsnetzen bewegen können, ohne dass es dazu einer übergeordneten Instanz bedarf. Dazu wurde bisher ein Anwendungsbeispiel aus dem Gebiet der Logistik behandelt, welches sich angesichts des erheblich zunehmenden Warenverkehrs vor große Herausforderungen gestellt sieht.

Wir wollen anschließend noch zwei weitere Beispiele aus dem Bereich des Verkehrswesens kurz vorstellen, die zeigen sollen, wie unter Nutzung des Paradigmas der mit Informationen verknüpften und untereinander vernetzten Objekten eine verbesserte Auslastung vorhandener Verkehrsnetze sowie eine Erhöhung der Verkehrsdurchlässigkeit erreicht werden kann.

- Einführung von Konvoi-Fahrten

Da der allgemeine Warenverkehr trotz aller Bemühung um Umlenkung auf andere Verkehrsträger immer mehr das Straßennetz, insbesondere die Autobahnen, belastet, sucht man nach Möglichkeiten, die Verkehrsströme zumindest effektiver zu gestalten. Eine der Möglichkeiten besteht darin, LKWs, welche die gleiche Strecke befahren, zu Konvois zu vernetzen. Dabei entstehen, ähnlich den Eisenbahnzügen, Verbünde unterschiedlicher Länge, wobei im Gegensatz zur Bahn die Fahrzeuge nicht physisch, sondern informationell gekoppelt werden.

Hier wird an Verkehrslösungen gearbeitet, nach denen die Trucks zukünftig eine eigene Fahrspur zugewiesen bekommen, auf denen sie in wesentlich dichter Folge verkehren sollen. Voraussetzung dafür ist der Einsatz einer besonders schnell reagierenden Abstandsautomatik. Damit soll nach vorliegenden Angaben eine Reaktionszeit von 0,1 s erreicht werden [2].

Demgegenüber kommt der Mensch im Mittel auf Reaktionszeiten von 1,4 s. Die Firma Siemens hat in einem Feldversuch unter Einsatz ihrer neuesten LKWs vom Typ ACTROS nachgewiesen, dass bei einer aus einer Geschwindigkeit von 80 km/h von der Automatik ausgelösten Notbremsung der LKW nach einer Bremsstrecke von nur noch 2,2 m zum Stillstand kommt. Daraus resultiert die Möglichkeit einer beträchtlichen Verkürzung der bei automatischem Betrieb benötigten Bremsstrecke gegenüber der von menschlichen Fahrern. Wie Ermittlungen zeigen, lägen die Einsparungen an benötigter Verkehrsfläche etwa bei 50%. Somit könnte die vorhandene Infrastruktur wesentlich besser ausgelastet werden. Die Konvoibildung geschieht dadurch, dass der Fahrer eines sich einem Konvoi nähernden Trucks seine Absicht der Automatik lediglich durch einen Knopfdruck mitteilen muss, die dann alles Weitere übernimmt. Auf ähnliche Weise kann die Konvoibindung auch wieder aufgelöst werden.

Da sich die Trucks während der automatisierten Konvoifahrt dank der eingebauten Automatik weitgehend selbst steuern, kommt dies auch den Fahrern zugute, indem sie während ihrer Langstreckenfahrten vom Fahrprozess entlastet werden.

Ähnliche Effekte würden auch bei autonom fahrenden PKWs zu verzeichnen sein, so dass auch hier eine Konvoifahrt, allerdings mit geschwindigkeitsabhängiger Abstandsvorgabe, in Betracht käme.

- Verbesserung der Verkehrslenkung

Die Verkehrssteuerung an Straßenknoten in Städten und größeren Gemeinden erfolgt seit fast 100 Jahren mithilfe von dort angebrachten Lichtsignalanlagen (LSA). Diese Anlagen emittieren in bestimmter Weise farbige Lichtsignale, welche von den Verkehrsteilnehmern zu interpretieren sind und sie zu bestimmtem Verkehrsverhalten veranlassen sollen. Die ersten der heute üblichen dreifarbigen Lichtsignalanlagen wurden 1920 in Detroit und New York und in Deutschland 1925 zuerst in Hamburg aufgestellt. Berlin folgte 1924 mit einer Erstanlage auf dem Potsdamer Platz.

Seit diesen Ersteinsätzen hat das Verkehrsaufkommen erheblich zugenommen. Wie unsere täglichen Erfahrungen zeigen, bilden sich heutzutage an solchen Ampelkreuzungen besonders in Großstädten häufig lange Staus, die bis zum streckenweisen Erliegen des innerstädtischen Verkehrs führen können. Auf der anderen Seite werden wiederum Fahrzeuge an Verkehrsknoten unnötigerweise stillgesetzt, obwohl kein anderes Fahrzeug sich auf der querenden Straße befindet. Das benutzte Steuerungskonzept mittels LSA ist also offensichtlich überfordert und arbeitet auch fehlerhaft.

Der Hauptgrund für diese Verkehrsbehinderungen besteht in der immer noch verbreiteten Anwendung des ursprünglichen primitiven Steuerungskonzepts. Dieses basiert bekanntlich auf einer Phasensteuerung der Lichtquellen nach einem festgelegten starren Zeitregime. Die Steuerung nimmt also – von Ausnahmen abgesehen – die aktuell vorliegende Verkehrssituation überhaupt nicht zur Kenntnis. Bei den genannten Ausnahmen wird versucht, die Verkehrsströme durch in die Fahrbahn eingelassene Induktionsschleifen oder am Fahrbahnrand aufgestellte Bewegungsmelder zu erfassen. Dabei wird jedoch nur ein ungenügendes Abbild der Verkehrssituation vermittelt [3]. Von der Nutzung selbst dieser Möglichkeiten wird in der Praxis kaum Gebrauch gemacht. Somit ist festzustellen, dass im Vergleich mit dem bei den Fahrzeugen erreichten Entwicklungsstand, etwa der Realisierung eines autonomen Fahrbetriebs, die Verkehrssteuerungsanlagen einen beträchtlichen Rückstand aufweisen.

Eine dem neuen Paradigma nahe stehende Lösung zur Erfassung der aktuellen Verkehrssituation wäre der Einsatz einer Umgebungssensorik mit anschließender Auswertung der aktuellen Verkehrssituation, wie sie etwa in den autonomen Fahrzeugen verwendet wird.

Dies ermöglichte dann eine dynamische Erfassung der aktuellen Verkehrssituation im lokalen Umfeld. Solche intelligenten Verkehrssteuerungen sollten mit benachbarten Anlagen dieser Art informationell vernetzt sein, wofür sich funkbasierte Lösungen besonders eignen. Auf diese Weise würde man die Verkehrslage in einem größeren Gebiet erfassen, sodass globalere Entscheidungen getroffen werden können. Eine solche Art der Verkehrssteuerung würde bei kurz aufeinanderfolgenden Straßenknoten besonders wirksam sein und wesentlich zur Verbesserung der Verkehrsdurchlässigkeit beitragen, da sich an diesen derzeit besonders lange Staus bilden.

Einige Verkehrsforscher glauben sogar das Ende der LSA-Technologie zu sehen. Manche von ihnen setzen dabei auf die bald verfügbare Car-to-X-Kommunikation, welche in Konkurrenzsituationen die Möglichkeit der gegenseitigen Absprache von Fahrern bietet. Andere setzen auf den zukünftigen Verkehr mit autonomen Fahrzeugen. Wenn Fahrzeuge dieser Art dereinst unsere Straßen in hinreichend großen Stückzahlen bevölkern, werden Lichtsignalanlagen entbehrlich sein, weil die Automatik Konfliktsituationen frühzeitig erkennt und auch autonom bewältigt. Aber bereits jetzt schon wurde anhand von Feldversuchen demonstriert, dass autonome Fahrzeuge auf Einmündungen in Autobahnen sich ohne externe Steuerungsmittel problemlos in den vorbeiziehenden Fahrzeugstrom eingliedern können.

Wie aus den vorstehend behandelten Beispielen hervorgeht, müssen wir uns wohl auf eine Zukunft einstellen, in der Dinge mit Informationen verknüpft und auch untereinander vernetzt sind. Damit ergeben sich neue Perspektiven für die informationsgestützte Interaktion zwischen den Dingen, die nun ohne äußere Einflussnahme auskommt. Wie sich zeigt, gibt es Parallelen zum Internet, sodass man bereits von einem *Internet der Dinge* spricht. Folgt man dieser Sicht, dann müssen die informationsbegleiteten Gegenstände jeweils über eine (IP-)Adresse verfügen, damit sie wahlweise untereinander in Kontakt treten können. Damit stellt sich spätestens jetzt die Frage, ob man damit rechnen muss, dass zukünftig *alle* Dinge dieser Welt mit einer solchen Adresse ausgestattet sein müssen oder zumindest ein maschinenlesbares Informationslabel haben werden. Abgesehen davon, dass ein solches Vorhaben bei der unendlichen Menge und Vielfalt der Dinge undurchführbar ist, wird es hier enge Grenzen geben. Diese lassen sich jedoch schwer angeben. Ist es sinnvoll, so könnte man fragen, der eigenen Heizung, dem Kühlschrank oder dem Bund Möhren im Einkaufskorb eine eigene Adresse zu geben? Das sind sicher Grenzfälle, über die nur individuell entschieden werden kann. Ganz ausschließen kann man das Eine oder Andere jedoch nicht.

Abschließend sei noch auf eine Konsequenz des Gebrauchs eines künftigen Internets der Dinge hingewiesen. Wie die Erfahrungen mit dem bereits verfügbaren Internet zeigen, können sich in diesem Firmen ansiedeln, die darauf bedacht sind, Spuren, die wir selbst hinterlassen haben, informationell zu erfassen, zu verarbeiten und gewinnbringend zu veräußern. Außerdem besteht die Möglichkeit der totalen Überwachung eigener Aktivitäten. Solchen Gefahren wird man natürlich auch im Internet der Dinge ausgesetzt sein. Mit diesem Hinweis möchten wir zur Vorsicht mahnen.

Literatur

[1] Singer, E. : Per Anhalter durchs Physical Internet. Mercedes-Benz next. Sommer 2016, S. 7-13

[2] Wuttke, W. : Der vernetzte LKW weiß auf welcher Straße er am besten ans Ziel kommt.

Mercedes-Benz next. Sommer 2016, S. 16-19

[3] Weller, W. : Erhöhung der Verkehrsdurchlässigkeit durch verbesserte Steuerung von

Lichtsignalanlagen www.edoc.hu-berlin.de 2011-02-05

